

# Ausbauszenarien für PV-Batteriesysteme in Deutschland

**Martin Klein**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
Institut für Technische Thermodynamik  
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

Strommarkttreffen  
Prosumer und Abgaben/Umlagen  
Ecologic, 05.05.2017, Berlin



energy  
> scenarios  
school

Wissen für Morgen



## Problembeschreibung

Unsichere aber erwartbare Kostendegression von PV-Batteriesystemen

Nicht-systemoptimaler Einsatz (und Zubau) von Heimspeichersystemen

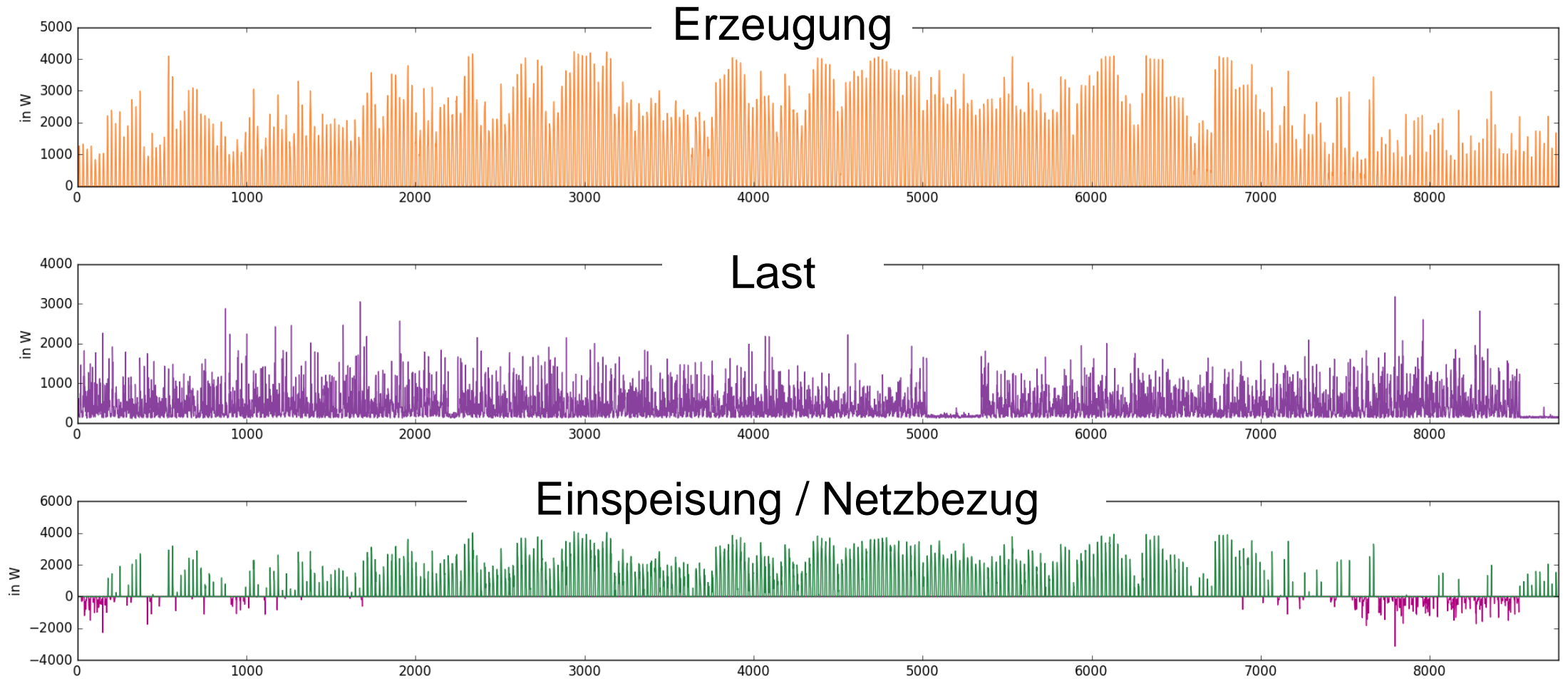
Möglicher parasitärer Effekt auf das Energiesystem („Death Spiral of the Grid“)

So gut wie keine Systemuntersuchungen bisher:

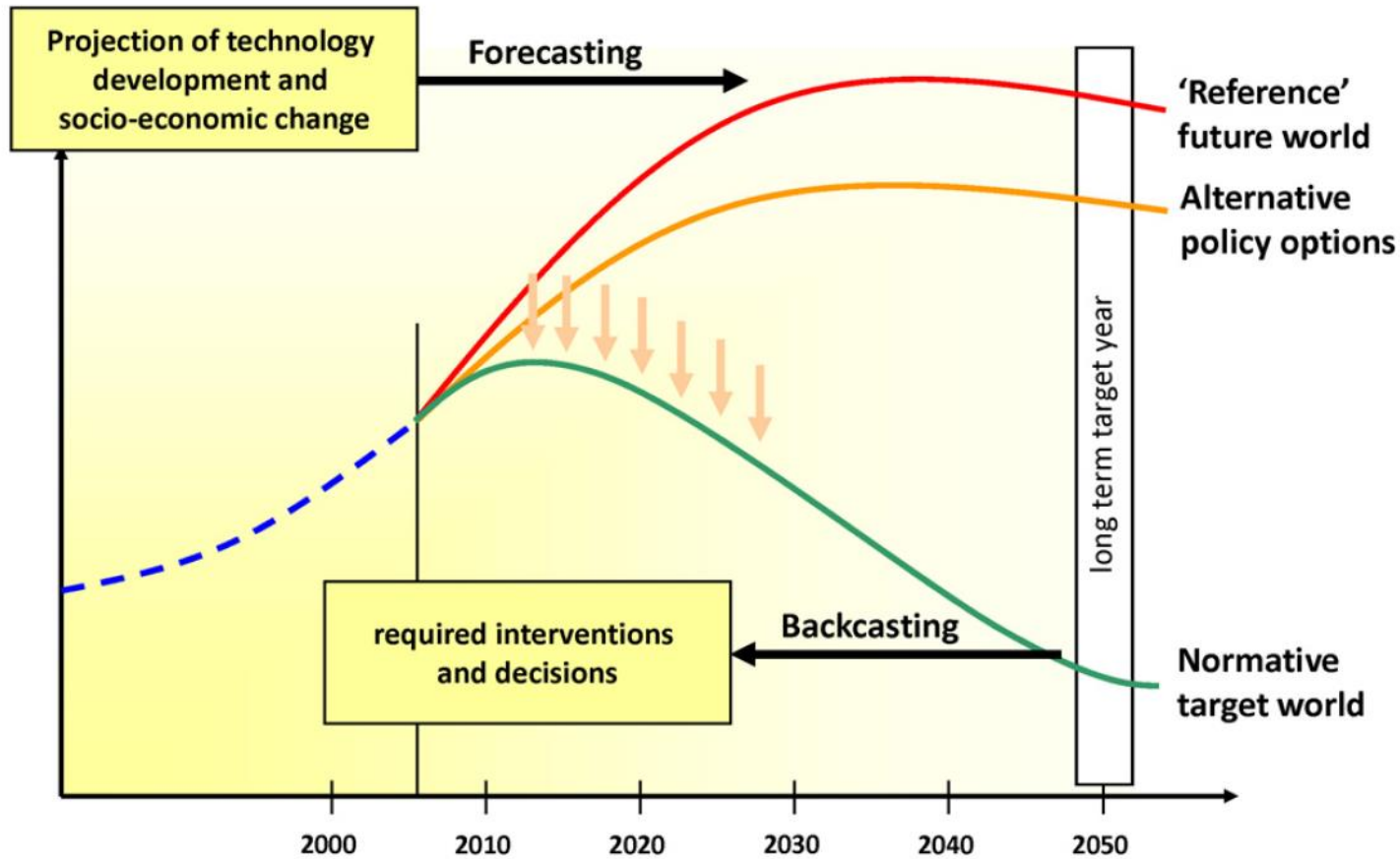
- heterogene Investitionsanreize
- Systemoptimierungsmodelle haben Schwierigkeiten...
- Kostenentwicklung von PV-Batteriesystemen unsicher
- Datenverfügbarkeit (Last und Erzeugung)



# Beispielhafter Speicheransatz über ein Jahr



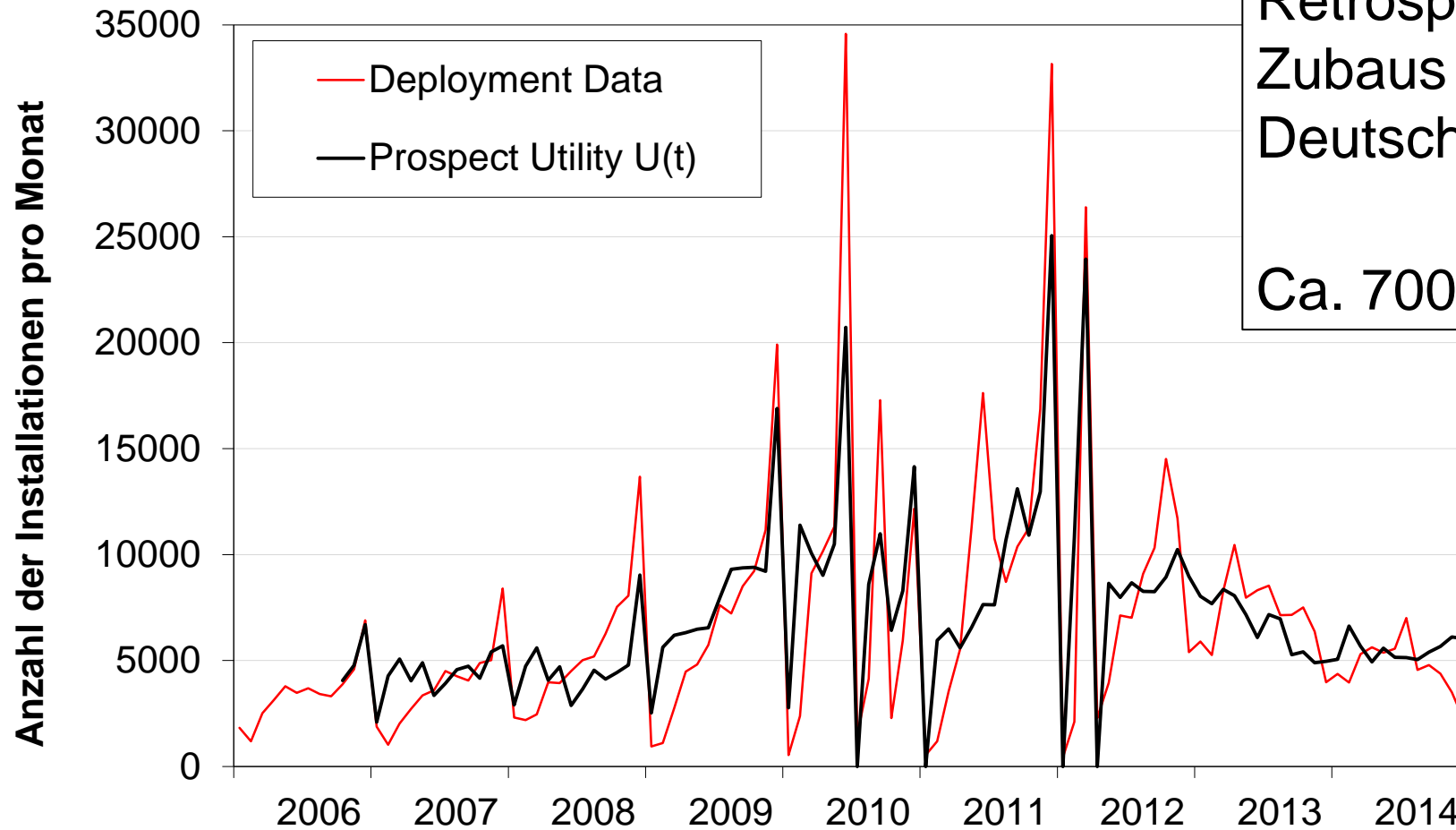
# Explorative Szenarien sind aktuell eher selten in der Gesamt-Energiesystemmodellierung



- Explorative Szenarien bzw. „What-if“-Szenarien
- Wie kann man den prospektiven Zubau von PV-Batteriesystemen abschätzen?
- Man müsste wissen, wie und wann Leute in PV-Anlagen investieren...



## Genau das haben wir analysiert!

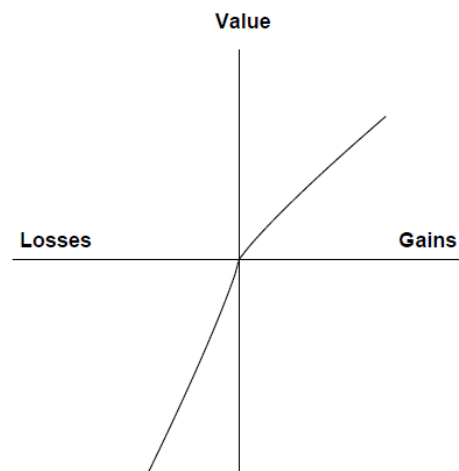
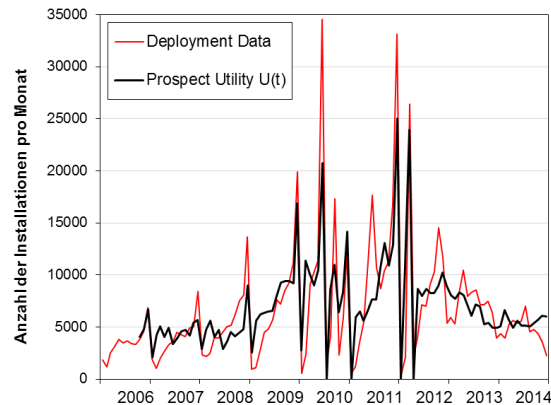


Retrospektive Analyse des  
Zubaus von PV-Anlagen in  
Deutschland

Ca. 700.000 Anlagen <10 kW

Klein, M. & Deissenroth, M., 2017. When Do Households Invest in Solar Photovoltaics? - An Application of Prospect Theory (*under review*)

# Zur Modellierung der Investitionsdynamik von PV-Anlagen



(Kahneman & Tversky, 1979)

1. Retrospektive Bestimmung des IRR von möglichen PV-Anlagen

2. Nutzenfunktion  $U(t)$ :  $\sim \exp(\text{IRR})$

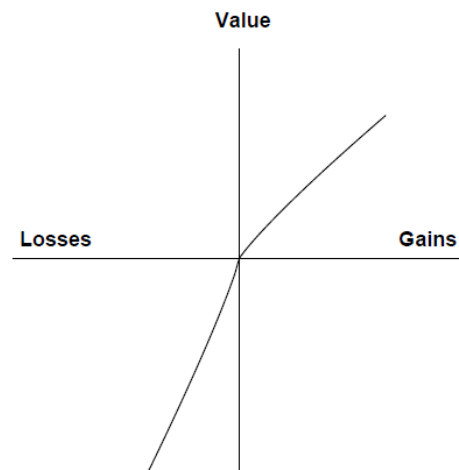
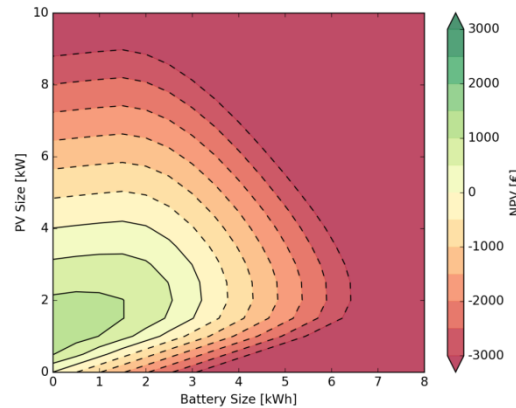
3. Änderung der Nutzenfunktion  $U'(t)$ :

Wertfunktion aus Prospect Theory

4. Zubau  $\sim U(t) + U'(t)$



# Abschätzung der Investitionsdynamik von PV-Batteriesystemen



(Kahneman & Tversky, 1979)

1. Prospektive Bestimmung des IRR von möglichen PV-Batterie-Systemen

2. Nutzenfunktion  $U(t)$ :  $\sim \exp(\text{IRR})$

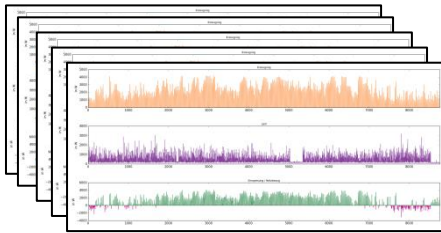
3. Änderung der Nutzenfunktion  $U'(t)$ :

Wertfunktion aus Prospect Theory

4. Zubau  $\sim U(t) + U'(t)$

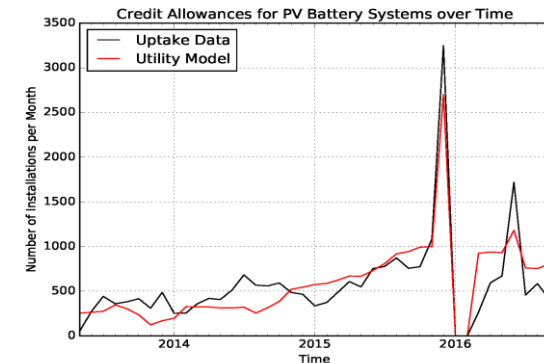
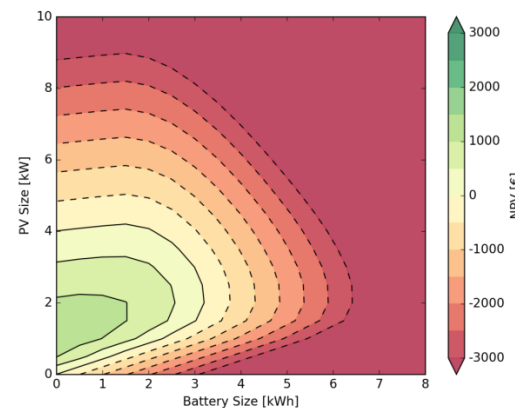


# Verbindung der Mikro- und Makroebene – Welche Systemeffekte hat Eigenverbrauch?



- 74 hochaufgelöste Haushalts-Lastprofile (HTW Berlin)
- PV-Einspeiseprofile aus DLR-REMix-EnDat
- Förderregime nach EEG und KfW
- Weitere Inputs: PV- und Batteriesystempreise, ...

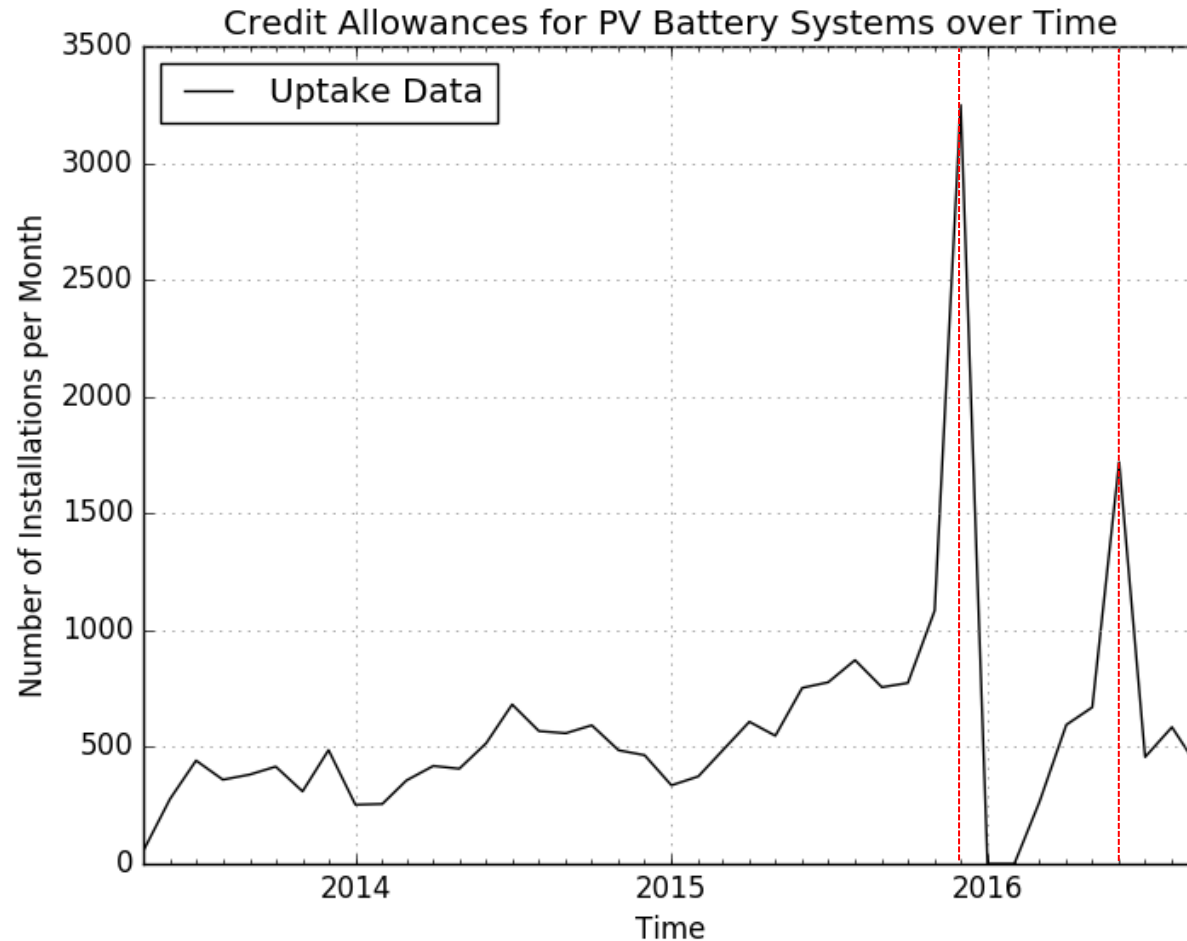
- Berechnet nach „egoistischer“ Heuristik Speicher-, Last- und Einspeiseprofil
- NPV- und IRR-Berechnung für zahlreiche PV-Batterie-Kombinationen



- Aktuell Integration in AMIRIS (Agentenmodell deutscher Strommarkt)  
→ Ermöglicht modell-endogenen Zubau von PV-Batteriesystemen im Systemkontext



# Zubaumodell von PV-Batteriesystemen



## Förderung durch die KfW:

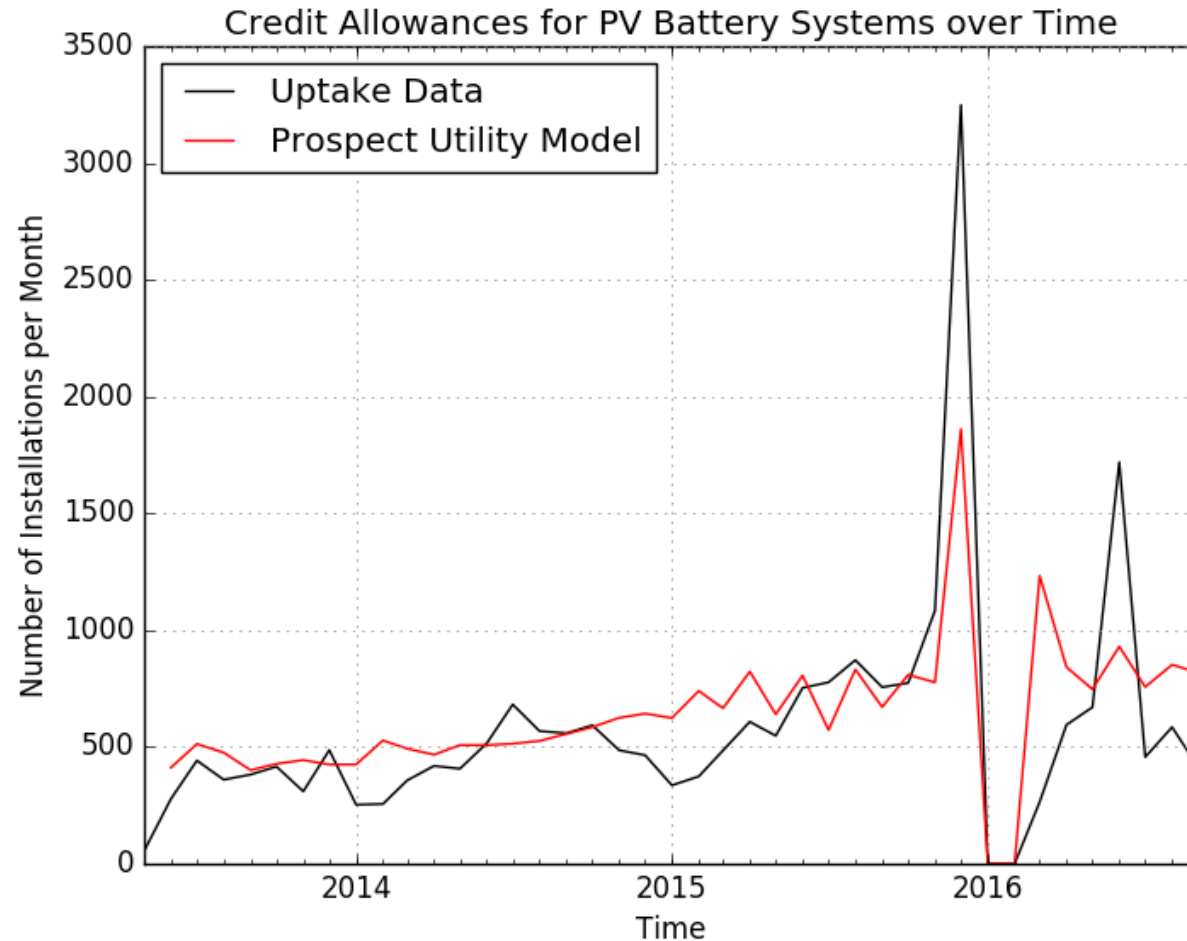
- 2013-2015: 30%
- 2016: 22-25%
- 2017: 16-19%
- 2018: 10-13%

ca. 23.600 Systeme gefördert (2013 - 2016)

Daten: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher - Jahresbericht 2016 & persönliche Mitteilung KfW



# Zubaumodell von PV-Batteriesystemen



## Förderung durch die KfW:

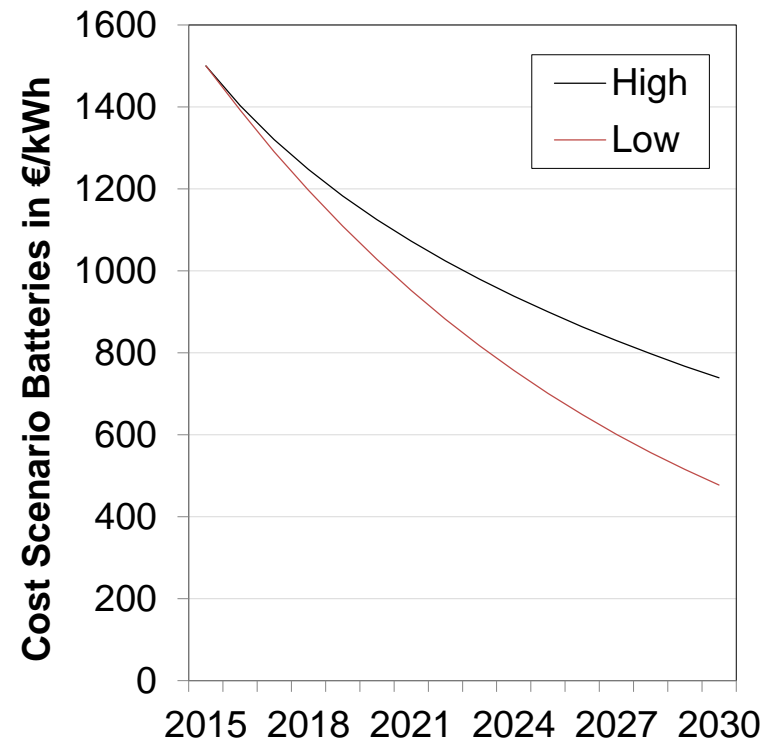
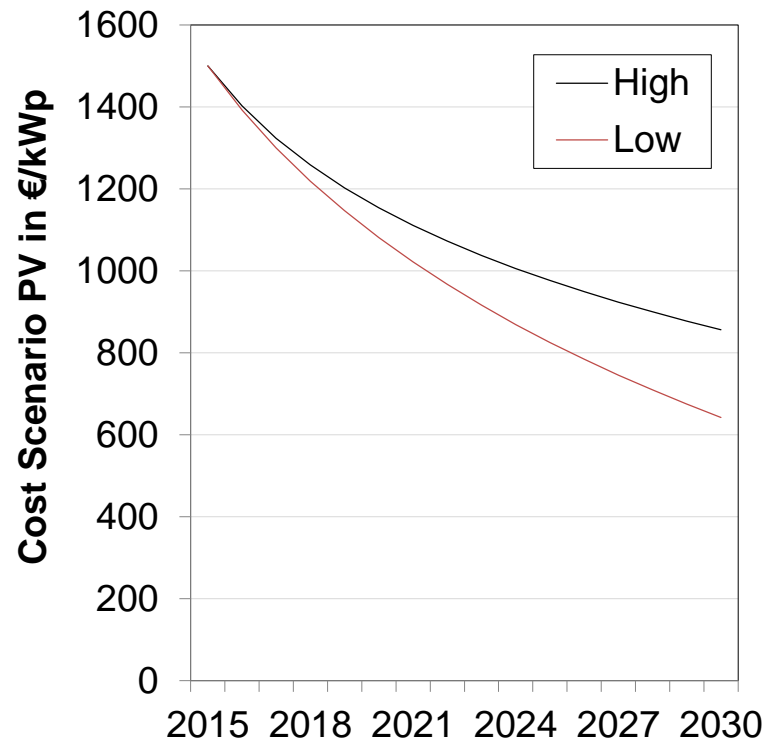
- 2013-2015: 30%
- 2016: 22-25%
- 2017: 16-19%
- 2018: 10-13%

Daten: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher - Jahresbericht 2016 & persönliche Mitteilung KfW



# Szenarienstruktur

## Systemkosten:



## Abgaben:

### ***Business as Usual:***

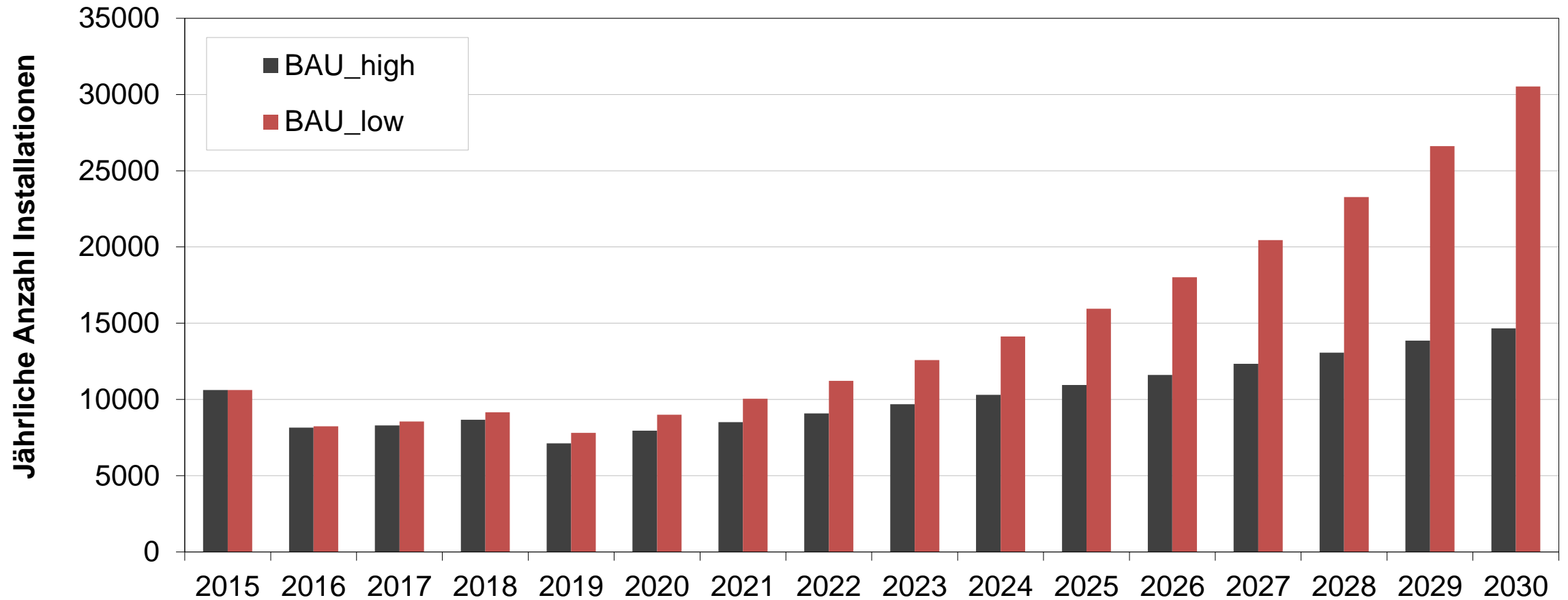
- 26,1 ct/kWh
- 7,90 €/Monat

### ***Kapazitätsbasierter Tarif:***

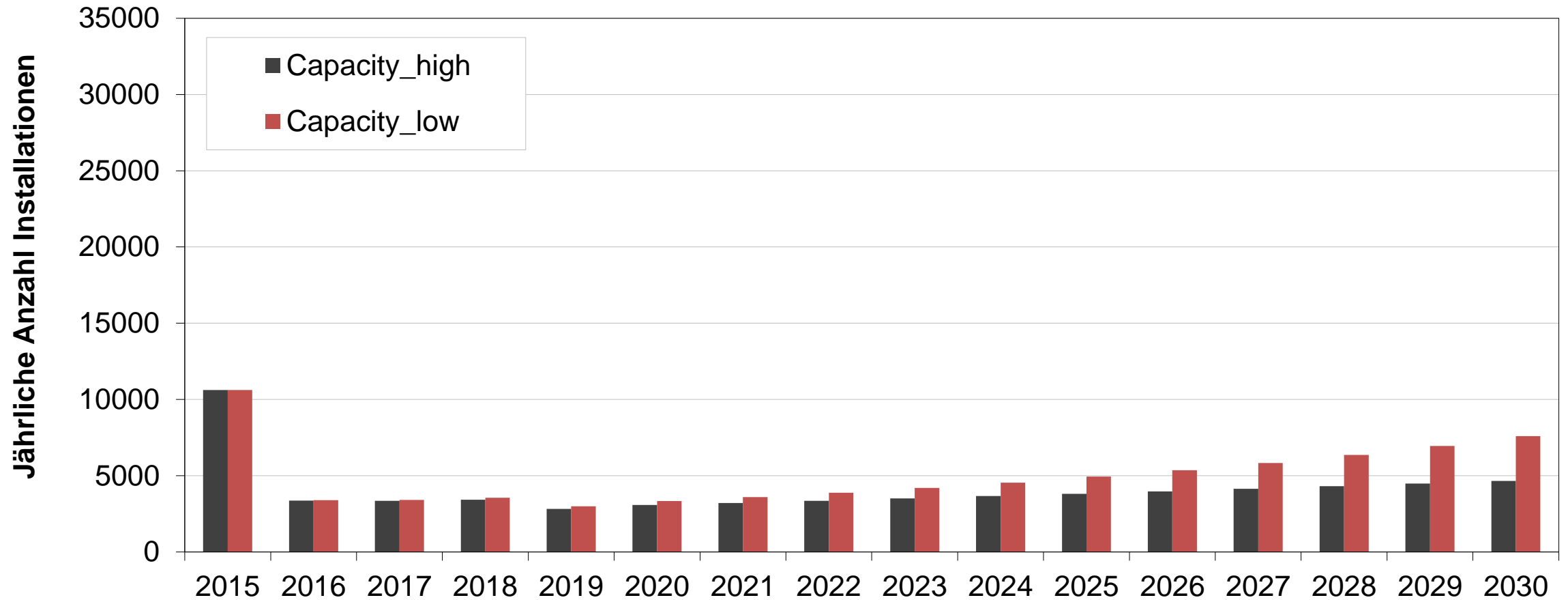
- 11,7 ct/kWh
- 49,90 €/Monat

(ergibt gleiche Kosten von 0,288 €/kWh bei 3,500 kWh/a)

## Exemplarische Zubauszenarien – Business as Usual (BAU)



## Exemplarische Zubauszenarien – Kapazitätsbasierte Tarife





# Beispielhafte Zubaumatrix

	1 kWh	2 kWh	3 kWh	4 kWh	5 kWh	6 kWh	7 kWh	8 kWh	9 kWh	10 kWh
1 kW	5187	2150	1162	729	501	360	267	202	156	121
2 kW	6696	4297	2912	2028	1482	1133	894	723	598	500
3 kW	5925	4482	3431	2590	1986	1566	1267	1045	879	750
4 kW	5217	4278	3491	2778	2212	1794	1483	1245	1064	918
5 kW	4717	4043	3429	2832	2322	1923	1616	1382	1193	1041
6 kW	4358	3841	3345	2834	2378	2006	1710	1476	1291	1137
7 kW	4101	3677	3264	2819	2408	2058	1775	1550	1367	1212
8 kW	3907	3549	3190	2798	2419	2095	1827	1606	1427	1274
9 kW	3758	3447	3126	2772	2430	2121	1868	1651	1478	1326
10 kW	3642	3368	3077	2753	2433	2145	1899	1693	1519	1373

- Nach 15 Jahren für
- business as usual-Tarife
  - deutliche Kostenentwicklung

PV	Ø5.80	kW/System
Bat	Ø4.06	kWh/System



# Beispielhafte Zubaumatrix

	1 kWh	2 kWh	3 kWh	4 kWh	5 kWh	6 kWh	7 kWh	8 kWh	9 kWh	10 kWh
1 kW	696	297	145	80	45	25	13	4	2	0
2 kW	1172	694	457	313	223	160	115	90	68	51
3 kW	1389	926	669	497	379	294	233	185	152	120
4 kW	1527	1088	827	643	510	412	336	281	234	199
5 kW	1628	1215	951	765	622	514	430	365	313	270
6 kW	1709	1317	1060	869	722	609	518	446	387	340
7 kW	1776	1407	1156	961	811	695	600	522	457	404
8 kW	1837	1481	1236	1045	893	774	675	595	524	467
9 kW	1888	1549	1309	1121	968	841	742	657	588	529
10 kW	1937	1613	1378	1188	1038	913	808	719	651	584

Nach 15 Jahren für

- Kapazitätsbasierte-Tarife
- deutliche Kostenentwicklung

PV	ø6.69	kW/System
Bat	ø4.02	kWh/System



## Work in Progress

Aktuell: Einbindung in (agentenbasiertes) Systemmodell AMIRIS:

- Effekt auf Strombörsenpreise
- Entgangene Last Versorger
- Anpassung von Tarifen (höhere Grundgebühr)
- Eigenverbrauch unter Real-Time-Preisen bzw. zeitabhängigen Abgaben

Szenarienvariation:

- Kostenentwicklung, Last, Vergütungsstruktur, Ladestrategie



## Zusammenfassung

- Eine akteursbasierte Perspektive ist hilfreich (nötig?) zur Bemessung des PV-Batterie-Ausbaus
- Zubau steigt wenn PV-Systemkosten fallen, selbst dann wenn Einspeisevergütungen in gleichem Maße angepasst werden
- Abgabenstruktur hat einen großen Einfluss auf den prospektiven Ausbau, ebenso welche Systeme bevorzugt gebaut werden
- Systemauswirkungen (Großhandelspreise, Gesamtlastprofil) vermutlich gering
- Auswirkungen für Versorger vermutlich nicht unerheblich



# Literatur

- Agnew, S. & Dargusch, P., 2015. Effect of residential solar and storage on centralized electricity supply systems. *Nature Climate Change*, 5(4), pp.315–318. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2523>.
- Grunwald, A. (2011). Energy futures: Diversity and the need for assessment. *Futures*, 43(8), 820–830. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2011.05.024>
- Hoppmann, J. et al., 2014. The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems - A review and a simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, pp.1101–1118. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.068>.
- Kahneman, D. & Tversky, A., 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), pp.263–292. Available at: <http://dx.doi.org/10.2307/1914185>.
- Kairies, K.-P. et al., 2016. *Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher - Jahresbericht 2016*, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen. Available at: <http://www.speichermonitoring.de/>.
- Klein, M. & Deissenroth, M., 2017. When Do Households Invest in Solar Photovoltaics? - An Application of Prospect Theory (*under review*)
- Luthander, R. et al., 2015. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, 142, pp.80–94. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>.
- Parag, Y. & Sovacool, B.K., 2016. Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy*, p.16032. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/NENERGY.2016.32>.
- Quoilin, S. et al., 2016. Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment. *Applied Energy*, 182, pp.58–67. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.077>.
- Schill, W.-P., Zerrahn, A., & Kunz, F. (2017). Prosumage of solar electricity: pros, cons, and the system perspective. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 6(1). Available at: <http://dx.doi.org/10.5547/2160-5890.6.1.wsch>
- Tjaden, T. et al., 2015. Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis. Available at: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5112.0080>.
- Tversky, A. & Kahneman, D., 1992. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), pp.297–323. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00122574>.
- Weniger, J., Tjaden, T. & Quaschning, V., 2014. Sizing of Residential PV Battery Systems. *Energy Procedia*, 46, pp.78–87. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.160>.





# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Fragen?

**Martin Klein**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik

Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

Kontakt: m.klein(η)dlr.de, [Web](#)

Strommarkttreffen

Prosumer und Abgaben/Umlagen

Ecologic, 05.05.2017, Berlin



> **energy**  
scenarios  
school

A large, curved image of the Earth from space, showing the blue oceans, white clouds, and green landmasses of Europe and Africa.

Wissen für Morgen

# AMIRIS Model

